

Loppuraportti:
HELENA-hankkeen monitavoiteoptimointien tulosten dokumentointi viestittävässä muodossa

Sisällysluettelo

Sisällysluettelo	2
1 Johdanto	3
2 Työpajat	4
2.1 Tietokannan hyödyntäjät ja käyttötarkoitukset	4
2.2 Tietokannan sisältö ja jatkokehitysmahdollisuudet	4
2.2.1 Viestintäkohteiden valinta ja mahdolliset viestintäkanavat	5
3 Monitavoiteoptimointien tietokannan koostaminen	5
4 Monitavoiteoptimointien tulosten analysointi	6
4.1 Lämpöpumppuratkaisut arvioitiin kustannustehokkaiksi	7
4.1.1 Ilma-vesilämpöpumppu	7
4.1.2 Maalämpöpumppu	7
4.1.3 Poistoilmalämpöpumppu	8
4.2 Suurimmat lämmitettyä kerrosalaa kohti lasketut elinkaarikustannussäästöt	8
4.3 Lämpöpumppuinvestoinnilla yhteys rakenteellisen energiatehokkuuden parantamiseen	9
4.4 Yläpohjan lisäeristyksen kustannustehokkuus vesikattoremontin yhteydessä vaihteli voimakkaasti	9
4.5 Julkisivun lisäeristys arvioitiin kustannustehokkaaksi tavanomaista laajemman julkisivuremontin yhteydessä	9
4.6 Ikkunoiden uusimista ei suositeltu vain energiatehokkuuden vuoksi	10
4.7 Arviot koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon taloudellisuudesta vaihtelivat yritysten välillä	10
4.8 Aurinkosähkö elinkaareltaan kustannustehokas ratkaisu	11
4.9 Jäteveden lämmön talteenotto	11
4.10 Lämmityksen ohjaus älytermostaattipohjaisella ratkaisulla	11
5 Huomioita ja kehitysehdotuksia monitavoiteoptimointien teettämiseen	12
6 Kohde-esittelyt valituista kohteista ja tuloksista tiedottaminen	13
7 Tulosten hyödyntäminen jatkossa	14

Helsingin kaupungin asunnot Oy (Heka) on teettänyt merkittävän määrän monitavoiteoptimointeja (mobo) kohteisiin, joihin on suunnitteilla peruskorjaus. Monitavoiteoptimointien tarkoituksena on ollut tunnistaa elinkaarikustannuksiltaan kustannustehokkaita tapoja vähentää kohteissa energiankulutusta ja päästöjä. Monitavoiteoptimointien tulokset on esitetty pdf-muotoisina raportteina, mikä on tuonut haasteita tulosten analysointiin ja hyödyntämiseen.

Heka tilasi Motiva Services Oy:ltä osana HELANA-hanketta projektin, jossa monitavoiteoptimointien tulokset siirrettiin tietokantatyypiseen helpommin hyödynnettävään muotoon. Lisäksi projektissa analysoitiin mobojen tuloksia, tuotettiin kehitysehdotuksia, sekä nostettiin Motivan sivustolle esille valikoituja toteutuksessa olevia tai toteutettuja perusparannushankkeita, joissa monitavoiteoptimointia on hyödynnetty.

Tausta-ajatuksena projektissa oli lisäksi, että tuloksista voitaisiin tunnistaa monistettavia ratkaisuja elinkaarikustannustehokkaista toimenpideyhdistelmistä yleisimpiin asuinkerrostalotyyppeihin Helsingissä (esim. koneellisella poistoilmanvaihdoilla varustettu 70-luvun betonielementtirakenteinen lamellikerrostalo). Yleisiä ratkaisumalleja voitaisi jatkossa hyödyntää asunto-osake- ja vuokrataloyhtiöille suuntautuvassa viestinnässä.

Projektin alkuvaiheessa järjestettiin työpaja, jossa kartoitettiin taustatietoa ja tarpeita projektissa luotavan mobo-tietokannan toteutusta varten. Lisäksi kartoitettiin projektin tulosten viestintämahdollisuuksia. Työpajaan osallistuivat Helsingin kaupungin Asunnot Oy:n (Hekan), Helsingin asuntotuotantotoimisto ATT:n ja Motivan edustajia.

2.1 Tietokannan hyödyntäjät ja käyttötarkoitukset

Mahdolliseksi tietokannan hyödyntäjiksi tunnistettiin ATT:ltä korjausrakentamishankkeen projektipäällikkö, joka vastaa hankkeesta alusta loppuun, sekä mahdollisesti myös suunnittelupäälliköt. Toisinaan projektin hankesuunnittelussa on jo optio varsinaisesta suunnittelusta, jolloin tietoa mobosta voisi käyttää tarjouspyynnön lähtötietoaineistona. Lisäksi ATT:n kustannuslaskenta voisi hyödyntää tietokantaa taustatietona vaihtoehtojen laskemiseen tulevaisuudessa.

Yhtenä keskeisenä tietokannan käyttötarkoituksena pidettiin sen toimimista korjaushankkeiden tarjouspyyntöjen taustatietoina eli Hekan ja ATT:n asiantuntijat ja hankkeiden tilaajat voivat hakea tietoa siitä, mitä vaihtoehtoja on jo selvitetty ja mitä tarjouspyyntöihin kannattaa viedä tarkempaa laskentaa ja suunnittelua varten.

Tietokantaa voitaisiin hyödyntää myös vastuullisuusraportoinnissa. Hyödyntämistä seurannan työkaluna tulevaisuudessa pidettiin myös mahdollisena, jos tietoja päivitetään. Esimerkiksi kuinka korjaukset etenevät talokannassa ja mitä vaikutuksia niistä saadaan?

Tietokantaa pidettiin hyödyllisenä myös yleishyödyllistä käyttötarkoitusta ajatellen erityisesti, jos tuloksista voidaan tehdä johtopäätöksiä yleisemmin taloudellisesti kannattavista toimenpiteistä määrätynlaisissa kiinteistöissä Helsingin alueella.

Pohdittiin myös tuovatko rakentamislain ja mahdollisesti rakennusten energiatehokkuudirektiivin muutosten mukana tuomat vaatimukset käyttötarpeita tietokannalle (esim. digitaaliset kaksoiset, perusparannuspassi jne.).

2.2 Tietokannan sisältö ja jatkokehitysmahdollisuudet

Tietokannan luomisessa pidettiin tärkeänä seuraavia seikkoja:

- Lähtötietojen laajaa kattavuutta pidettiin tärkeänä tulosten ymmärtämisen ja myös erilaisten käyttötarkoitusten mahdollistamiseksi jatkossa.
- Talouslukuja ja elinkaarinäkökulmaa pidettiin tärkeinä, mutta samalla pohdittiin kuinka realistisia nopeasti muuttuvassa maailmassa selvitysten lähtötiedot kuten korkotaso ja energianhinta ovat.
- Erilaisten suodatusten ja "ristiinajojen" mahdollistamista tietokannan rakenteessa pidettiin tärkeinä, samoin Power-BI:n hyödyntämisen mahdollisuuksia.

Jatkokehitysmahdollisuuksien suhteen nostettiin esille:

- Power-BI -näkymien ja suodatusten rakentaminen tietokannasta
- Kuntoarvio- ja kuntotutkimusdatan, sekä täydennysrakentamispotentiaalin tietojen syöttäminen tietokantaan (esim. maalämpökaivojen määrä rajoittuu täydennysrakentamisessa)
- Sähkötehotasapainon hallintaan liittyvät tekijät (taajuusmuuttajaohjatut käytöt ja niiden teho, sähköautojen latauksen kuormanohjaus)
- Tietokannan soveltamista uudiskohteisiin pidettiin myös mahdollisena. Taustatietojen todettiin olevan hyvin tärkeitä uudispuolella, jotta ei turhaan tarkastella vaihtoehtoja, jotka eivät sovellu kohteeseen (sijainnin, koon tms. vuoksi).
- ATT:llä kustannuslaskennassa hyödyntäminen
- Erilaisten selvitysten tietojen liittäminen työkaluun
- Rakenteiden tiedot (materiaalit) lisääminen. Liittyy laajemmin esim. hiililaskentaan ja purkutöihin.
- Nostettiin esille ajatus voisiko tietokanta toimia laajemminkin Hekan kohteiden tietopankkina.

2.2.1 Viestintäkohteiden valinta ja mahdolliset viestintäkanavat

Esittelyn kannalta kiinnostavina pidettiin toteutuksia, joissa on päästy erityisen hyvään energia-tehokkuuden tasoon. Hyvinä esille nostettavina kohteina pidettiin myös sellaisia, joissa perusrannushanke on tehty pitkälti selvityksen mukaisena, koska tällöin voidaan seurata paremmin kuinka selvityksessä esitetyt säästöt ovat toteutuneet. Myös uusia selvityskohteita, joihin on otettu mukaan enemmän optimoitavia tekijöitä, pidettiin kiinnostavina esittelyn kannalta. Kolmantena nostettiin esille kevyemmät toteutuskokonaisuudet, jotka kuvaavat paremmin sitä millaisia toimia tehdään yleisemmin asunto-osakeyhtiöissä.

Työpajassa kartoitettiin laajasti mahdollisia viestintäkanavia ja viestinnän kannalta tärkeitä sidosryhmiä. Tulosten viestinnällisen hyödyntämisen todettiin riippuvan myös siitä millaisia tuloksia ja havaintoja monitavoiteoptimointien raporteista saadaan.

3 Monitavoiteoptimointien tietokannan koostaminen

Työpajassa esille nostettujen seikkojen ja Hekan kanssa käytyjen keskustelujen perusteella tietokantaan päätettiin viedä monitavoiteoptimointiraporttien tiedot laajasti, mikä parantaa tulosten ymmärrettävyyttä ja vähentää tarvetta tarkastella pdf-muotoisia raportteja tietokannasta tehtävien havaintojen yhteydessä. Tietokanta päätettiin rakentaa excel-pohjalle.

Tietokantaan koostettiin kutakin monitavoiteoptimointia varten noin 550 saraketta otsoikoitua tietoa kohteesta ja siihen tehdystä monitavoiteoptimoinnista. Tiedot koostettiin tietokantaan 49 monitavoiteoptimoinnista.

Kunkin monitavoiteoptimoinnin suositusvaihtoehdoista kirjattiin tietokantaan viisi elinkaarikustannustehokkainta toimenpideyhdistelmää. Yksittäisistä raporteista kirjattiin lisäksi yksi toimenpideyhdistelmä näiden ulkopuolelta, jos se sisälsi koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon, koska Heka on usein päätynyt kohottamaan kohteiden laatutasoa koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon siirtymällä.

Tietojen hallinnan helpottamiseksi tiedot tyypitettiin otsikkorakenteeksi kaksitasoisella hierarkialla, josta kummankin hierarkiatason excel-sarakkeet saa piilotettua. Esimerkiksi päätösikkotasoa ”Kohteen lähtötiedot” sisältää seuraavat ala-otsikkotasot:

- Perustiedot,
- Lämmitystavat ja lämmönjako,
- Aurinkosähkö, sähkön varastointi ja sähköautojen latauspisteet,
- Energialuokka ja kulutustiedot,
- U-arvot ja ilmanvuotoluku,
- Rakennetyyppi ja katon rakenteet,
- Ilmanvaihto.

Edelleen esimerkiksi ”Ilmanvaihto” alaotsikkotasoa sisältää kohteista kirjattavan tiedon kukin omalla sarakkeellaan:

- Ilmanvaihtojärjestelmän tyyppi
- Poistoilmahormien määrä
- Ilmanvaihdon ilmavirta
- Ilmavirran määritystapa

Koska laajaa tietoaimeistoa on vaikeaa käsitellä excelin yhdellä välilehdellä, eikä tietokannan tehokasta käyttöä haluttu jättää PowerBI-työkalun varaan, tietokantaan rakennettiin tietojen analysointia helpottava välilehti, johon koostettiin tärkeimpiä lähtötietoja ja tunnuslukuja, sekä keskeiset toimenpiteet, joita kussakin toimenpideyhdistelmässä suositellaan.

Lisäksi tietokantaan tuotettiin Power-BI -työkalu, jolla tietoja voi suodattaa erilaisilla parametreilla. Power-BI työkalu ei kuulunut toimeksiantoon, mutta sen rakentaminen varmisti Power-BI työkalun riittävän yhteensopivuuden tietokannan kanssa ja toi lisämahdollisuuksia tulosten analysointiin. Excel-tietokantaa ja siihen kytkettyä PowerBI-työkalua esiteltiin Hekan edustajille projektin aikana.

4 Monitavoiteoptimointien tulosten analysointi

Tulosten analysointi aloitettiin, kun tiedot oli saatu excel-tietokantaan ja analysointia helpottava excel-välilehti ja PowerBI-työkalu olivat toteutettu. Tavoitteena oli tunnistaa elinkaarikustannustehokkaimmissa toimenpidekokonaisuuksissa säännönmukaisesti toistuvia toimenpidekokonaisuuksia tietyn tyyppisissä kiinteistöissä (esim. 70-luvun 3-4 kerroksen lamellitalo). Eri yritysten tulokset vaihtelivat kuitenkin merkittävästi hyvin samankaltaisissakin kohteissa, vaikka optimointi kohdistui samantyyppisen peruskorjauksen yhteydessä tehtäviin toimenpiteisiin. Joita-

kin koko aineistoa koskevia yleistäviä havaintoja aineistosta pystyttiin kuitenkin erottelemaan. Yrityskohtaisesti tarkastellen kohteiden otanta jäi suhteellisen pieneksi tyyppitoimenpiteiden muodostamista ajatellen, mutta joitain havaintoja tuloksista pystyttiin tekemään myös yritys-kohtaisesti.

Tulosten vertailukelpoisuuden parantamiseksi seuraavassa on esitetty havainnot perustuen monitavoiteoptimointeihin, jotka on tehty MOBO-työkalulla yhdistettynä IDA ICE -energiasimulointiohjelmaan. Yritysten nimet on tässä raportissa korvattu termeillä yritys A, B ja C.

4.1 Lämpöpumppuratkaisut arvioitiin kustannustehokkaiksi

Keskeisimpänä havaintona 40 kohteessa 48:sta jokin lämpöpumppuratkaisu (maalämpö, ilma-vesilämpöpumppu tai poistoilmalämpöpumppu) optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään. Ne kohteet, joissa lämpöpumppu ei optimoituinut elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään, pienensivät elinkaarikustannuksia lämmitettyä kerrosalaa kohti selvästi heikommin.

Lämpöpumppujen pois jääminen selittyi neljässä kohteessa lämpöpumppuratkaisun tavanomaista korkeammalla hinnalla (eur/kW) ja yhdessä kohteessa sillä, että lämmitystapamuutos ei ollut mahdollinen. Lopuissa kolmessa kohteessa elinkaarikustannustehokkuus oli hyvin lähellä referenssiratkaisun toimenpideyhdistelmää.

4.1.1 Ilma-vesilämpöpumppu

Ilma-vesilämpöpumppu optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään vain yrityksen A kohdalla, mutta sitäkin useammin (11 kohteessa 19:sta). Raporttien tietojen perusteella ei pystytty tunnistamaan selkeitä perusteita yksikköhintojen vaihtelulle eri kohteiden välillä.

4.1.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppu optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään yrityksellä A vain 2 kohteessa (2/19), kaikissa yrityksen B kohteissa (8/8) ja yrityksellä C yhteensä 18 kohteessa (18/22). Syitä maalämpöpumpun pois jäämiselle yrityksen C kohteissa:

- Salpausseläntie 12: Raportissa todettu, että kiinteistössä haasteena lämpöpumppujärjestelmien kanssa on se, että lämmönjakuhuone on yhteinen myös muiden rakennusten kanssa (monitavoiteoptimoinnit tehty erikseen rakennuksiin 1&2 ja 10&11).
- Tupavuori 4 Maalämpöpumpun investointikustannukset huomattavan korkeat (4 500 – 5 000 €/kW). Syytä korkealle yksikkökustannukselle ei esitetty raportissa.
- Perhekunnantie (rivitalokohde): Elinkaarikustannukset ovat lämpöpumppuratkaisussa samat kuin ilman lämpöpumppua toteutetussa ratkaisussa. Ei pystytty yksilöimään syytä tarkemmin vain raportin tietojen perusteella.

Yrityksen A laatimissa monitavoiteoptimoinneissa ilma-vesilämpöpumppu valikoitui maalämmön sijaan elinkaarikustannustehokkaimpiin toimenpideyhdistelmiin useimmissa kohteissa. Maalämmön kohdalla on hyvä huomioida, että lämpökaivokentän tekninen käyttöikä on merkittävästi monitavoiteoptimoinnissa käytettyä 25 vuoden tarkastelujaksoa pidempi.

4.1.3 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumppua ehdotettiin elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä kaikkien yritysten kohdalla aina maalämmön yhteyteen yhtä kohdetta lukuun ottamatta (yht. 12 kohdetta ja Salpausseläntie 12 PILP erillisenä ilman maalämpöä). Yrityksen C kohdalla poistoilmalämpöpumpun matalimmat yksikkökustannukset saavutettiin korkeissa 60-70 lukujen 8-kerroksisissa koneellisen poistoilmanvaihdon kohteissa. Jos maalämpökenttä pystyttiin asentamaan näissä riittävän suurena, hybridilämpöpumppuratkaisu poistoilman lto:lla nosti useimmiten hieman elinkaarikustannuksia, mutta pienensi energiankulutusta verrattuna maalämpöön ilman poistoilman lto:ta.

Yrityksen A kohdalla koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto optimoitui 12 kohteessa 19:sta, jonka vuoksi poistoilma- tai hybridilämpöpumppua esitettiin vain kahdessa kohteessa elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä. Molemmat esitettiin toteutettavan maalämmön kanssa.

Yrityksen B-kohdalla poistoilmalämpöpumppu valikoitui mukaan maalämmön kanssa kohteissa, joissa sen yksikkökustannus oli matalimmasta päästä ko. yrityksen kohteiden joukossa. Yksikkökustannuksen vaihtelulle ei pystytty yrityksen B kohdalla tunnistamaan syitä raportin tietojen perusteella.

4.2 Suurimmat lämmitettyä kerrosalaa kohti lasketut elinkaarikustannussäästöt

Yritysten A ja B monitavoiteoptimoinneissa suurimmat elinkaarikustannussäästöt lämmitettyä kerrosalaa kohti (ja myös prosentuaalisesti referenssiratkaisuun nähden) laskettuna saavutettiin pääsääntöisesti kohteissa, joissa oli lähtötilanteessa heikko rakenteellinen energiatehokkuus, joka johtaa korkeaan ominaiskulutukseen. Heikoin elinkaarikustannustehokkuus elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä yrityksen A selvittämässä kohteissa oli niissä kohteissa, joissa lämpöpumppuratkaisu ei optimoitunut elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään. Yrityksellä B kaikki elinkaarikustannustehokkaimmat toimenpideyhdistelmät sisälsivät lämpöpumppuratkaisun.

Yrityksellä C perusteet toimenpideyhdistelmien elinkaarikustannustehokkuuteen vaihtelivat enemmän. Tämä aiheutui pääosin siitä, että yrityksen monitavoiteoptimoinnit sisälsivät kohdekohtaisesti erilaisia optimointiparametreja. Suurimmat elinkaarikustannussäästöt lämmitettyä kerrosalaa kohti laskettuna saavutettiin yrityksellä C kohteessa Harmaahaikarankuja 2, jossa toimenpideyhdistelmä sisälsi maalämmön, aurinkopaneelit, käyttöveden vakiopaineventtiiliin, dynaamisten patteriventtiilien asentamisen ja ilmanvaihdon tarpeenmukaisen ohjauksen. Lähes puolet elinkarisäästöistä saatiin käyttöveden vakiopaineventtiiliin, dynaamisten patteriventtiilien asentamisen ja ilmanvaihdon tarpeenmukaisen ohjauksen yhdistelmällä. Näitä toimenpiteitä ei ollut mukana useimmissa monitavoiteoptimoinneissa. Siksi erityisesti yrityksen C monitavoiteoptimoinnit eri kohteisiin eivät ole vertailukelpoisia keskenään, kun tarkastellaan elinkaaren aikaisia kustannussäästöjä. Myös kohteessa, jossa saatiin aikaan toiseksi eniten elinkaarikustannussäästöjä lämmitettyä kerrosalaa kohti (Klaneettitie 13), elinkaarikustannustehokkain toimenpideyhdistelmä sisälsi dynaamisten patteriventtiilien asentamisen ja ilmanvaihdon tarpeenmukaisen ohjauksen. Toimenpideyhdistelmä sisälsi myös ikkunoiden tiivistämisen ja vettä säästävien suuttimien asennuksen hanoihin ja suihkuihin, joita niin ikään huomioitiin vain

harvan kohteen monitavoiteoptimoinneissa. Yleisemmin optimoiduista toimenpiteistä toimenpideyhdistelmään valikoitui kohteessa hybridilämpöpumppu (maalämpö ja poistoilman lto) ja aurinkosähkö.

4.3 Lämpöpumppuinvestoinnilla yhteys rakenteellisen energiatehokkuuden parantamiseen

Kaikissa kohteissa, joissa lämpöpumppu ei optimoitunut elinkaarikustannustehokkaimpaan yhdistelmään, siihen optimoitui koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto (viisi kohdetta) ja/tai jokin rakenteellisen energiatehokkuuden toimenpide (kuusi kohdetta). Lämpöpumppuratkaisun esiintyminen toimenpideyhdistelmässä pienentää merkittävästi kohteen energiakustannuksia (eur/MWh), mikä heikentää rakenteellisen energiatehokkuuden toimenpiteiden kannattavuutta. Tästä johtuen elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä, joka sisälsi lämpöpumppuratkaisun, oli vain harvassa kohteessa samalla jokin rakenteellisen energiatehokkuuden toimenpide.

4.4 Yläpohjan lisäeristyksen kustannustehokkuus vesikattoremontin yhteydessä vaihteli voimakkaasti

Yläpohjan lisäeristys optimoitui suositelluista toimenpideyhdistelmistä elinkaarikustannustehokkaimpaan vaihtoehtoon 11 kohteessa. Yhtä lukuun ottamatta kaikissa näistä sen yksikköhinta oli arvioitu matalaksi (pienimmällä lisäeristyksellä 7, 13, 29 eur/m²). Yhdessä kohteessa yläpohjan lisäeristys oli mukana 128 eur/m² yksikköhinnalla (Pihlajisto Salpausseläntie 12, talot 10 ja 11), mutta toimenpideyhdistelmässä elinkaarikustannus kasvoi selvästi referenssiratkaisuun nähden. Raportin muuttujakohtaisessa analyysissä mainitaankin, ettei yläpohjan lisäeristäminen ole kohteessa kustannustehokas toimenpide. Pääosassa kohteita yläpohjan lisäeristyksen yksikköhinnaksi arvioitiin yli 100 eur/m², eikä se optimoitunut kahteen elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään.

4.5 Julkisivun lisäeristys arvioitiin kustannustehokkaaksi tavanomaista laajemman julkisivuremontin yhteydessä

Julkisivun lisäeristämistä nykytasoa paremmaksi suositeltiin elinkaarikustannustehokkaimmissa toimenpideyhdistelmissä vain kuudessa kohteessa. Näistä kahdessa kohteessa vanhat eristeet joudutaan purkamaan joka tapauksessa julkisivun vaurioiden vuoksi. Yhdessä kohteessa (Töyrytie 3) suositeltiin kahden rakennuksen päätyseinien lisäeristystä rakenteen sisäpuolisena lisäeristysenä, jonka kannattavuutta paransi päätyseinien heikko U-arvo. Lisäksi kolmessa saman yrityksen toteuttamassa kohteessa julkisivun lisäeristys julkisivuremontin yhteydessä optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään matalan lisäeristyksen yksikköhinnan johdosta (18 eur/m²). Useimmissa kohteissa julkisivun lisäeristyksen yksikköhinta nousi 200-300 eur/m² suuruusluokkaan, eikä näissä kohteissa lisäeristäminen nousut elinkaarikustannustehokkaimpien toimenpideyhdistelmien joukkoon. Julkisivun lisäeristys oli 25 vuoden elinkaarikustannuksiltaan kustannustehokas toimenpide, kun sen yksikkökustannus jäi matalaksi esimerkiksi tavanomaista laajemman julkisivun peruskorjaustarpeen vuoksi, mutta muuten se ei optimoitunut elinkaarikustannustehokkaisiin toimenpideyhdistelmiin. Pidemmällä

tarkastelujaksolla julkisivun lisäeristämisen elinkaarikustannustehokkuus paranee jonkin verran, jos voidaan olettaa, että julkisivun lisäeristykseen elinkaari on selvästi 25 vuotta pidempi.

4.6 Ikkunoiden uusimista ei suositeltu vain energiatehokkuuden vuoksi

Ikkunoiden uusimista energiatehokkaammiksi ei suositeltu elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä, jos niitä ei oltu uusimassa joka tapauksessa huonon kunnon vuoksi. Jos ikkunoita oltiin uusimassa joka tapauksessa, optimoitu U-arvo vaihteli 0,7 ja 1,0 välillä (U-arvo 1,0 referenssivaihtoehdon mukainen). Viidessä kohteessa ikkunoiden uusiminen optimoitui mukaan toiseksi tai kolmanneksi elinkaarikustannustehokkaimmassa toimenpideyhdistelmässä, jossa elinkaarikustannustehokkuus pysyi positiivisena tai korkeintaan hieman nykytilannetta heikompana. Näissä ikkunoiden uusimiselle ei ollut välttämätöntä tarvetta. Kaikissa näissä nykyisten ikkunoiden U-arvo oli heikko: 2,1 tai 2,8 W/m²K. Tätä paremman U-arvon ikkunoita ei ehdotettu uusittavaksi missään elinkaarikustannuksiltaan likimain nykytilan mukaisissa tai sitä elinkaarikustannustehokkaammissa toimenpideyhdistelmissä.

Vaikka ikkunoiden uusiminen vain energiatehokkuuden vuoksi ei optimoitunut elinkaarikustannustehokkaimpien toimenpiteiden joukkoon vaan se vaikutti tyypillisesti kasvattavan elinkaarikustannuksia, heikon U-arvon ikkunoiden uusiminen sisältyi useissa kohteissa elinkaarikustannuksia pienentävään toimenpideyhdistelmään. Heikon U-arvon ikkunoiden uusimisen mukaan ottaminen kiinteistön perusparannukseen olikin perusteltua, jos tavoitteena oli parantaa energiatehokkuutta elinkaarikustannusneutraalisti mahdollisimman paljon (tässä elinkaarikustannusta tarkasteltu 25 vuoden aikajänteellä). Ikkunoiden uusimista voidaan perustella myös vedontunteen pienenemisen kautta, mikä voi mahdollistaa matalamman sisälämpötilan heikentämättä asumisviihtyisyyttä. On myös hyvä huomioida, että uusimisen elinkaarikustannustehokkuus paranee pidemmällä tarkastelujaksolla, jos voidaan olettaa, että uusien ikkunoiden elinkaari on selvästi 25 vuotta pidempi.

4.7 Arviot koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon taloudellisuudesta vaihtelivat yritysten välillä

Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään 14 kohteessa. Huomionarvoista on, että näistä 12 oli yrityksen A toteuttamia ja kaksi yrityksen C. Yritys A:n tuloksissa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto nousi esille oletettavasti osittain matalammaksi arvioitujen yksikkökustannusten johdosta. Yrityksen C toteuttamassa optimoinnissa tulo- ja poistoilmanvaihto optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan vaihtoehtoon kohteissa, joista:

- toisessa (Tupavuori 4) lämpöpumput eivät optimoituneet elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään tavanomaista kalliimman toteutushinnan vuoksi, mikä paransi muiden energiatehokkuustoimien kannattavuutta ja
- toisessa (Tuhkimontie 10) maalämmön kanssa optimoitunut toimenpidekokonaisuus oli elinkaarikustannuksiltaan referenssiä hieman heikompi. Tässä kohteessa raportissa mainittiin, että optimointiratkaisuiksi valittiin vain yli 40% energiansäästöä tuovia toimenpidekokonaisuuksia. Muuten tulo- ja poistoilmanvaihto olisi optimoitunut ko. vaihtoehtoon ilman maalämpöä. Koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kannattavuutta kohteessa paransi heikot rakenteiden U-arvot ja suuri normitettu ominaiskulutus (noin 54 kWh/Rm³).

Lisäksi yritysten B ja C toteuttamissa optimoinneissa tulo- ja poistoilmanvaihto optimoitui yksittäisissä kohteissa toiseksi tai kolmanneksi elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään, joissa elinkaarikustannukset olivat edelleen vähintään referenssiratkaisua vastaavia.

Arviot koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon elinkaaritaloudellisuudesta vaihtelivat merkittävästi yritysten kesken, minkä arvioidaan johtuvan osittain erilaisista arvioinnissa käytetyistä yksikkökustannuksista. Tulosten erilaisuuden vuoksi johtopäätösten tekeminen on vaikeaa. Yleistäen voidaan kuitenkin todeta, että toimenpideyhdistelmät, joissa lämpöpumppuratkaisu ei optimoitunut mukaan, koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto optimoitui mukaan useammin, samoin kuin rakenteellisen energiatehokkuuden toimenpiteet.

Koneelliseen tulo- ja poistoilmanvaihtoon siirtyminen on perusteltavissa erityisesti asumisen laatua parantavana investointina, jossa tuloilma saadaan sisään esilämmitettynä ja tehokkaasti suodatettuna.

4.8 Aurinkosähkö elinkaareltaan kustannustehokas ratkaisu

Aurinkosähkö optimoitui lähes kaikissa kohteissa elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään silloin, kun se oli mukana optimointiparametrina. Yhden yrityksen kohdalla aurinkosähkön taloudellisuutta arvioitiin useimmissa kohteissa vain yhteen monitavoiteoptimoituun toimenpideyhdistelmään sen jälkeen kun monitavoiteoptimointi oli suoritettu.

4.9 Jäteveden lämmön talteenotto

Jäteveden lämmön talteenotto valikoitui vain yhteen kohteeseen (Toinen linja 10) elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään, tosin elinkaarikustannus muuten samalla toimenpideyhdistelmällä, mutta ilman jäteveden lto:ta, oli lähes sama. Jäteveden lto:n valikointumista toimenpideyhdistelmään edesauttoi lämpöpumppuratkaisujen suhteellisen korkeat yksikköhinnat (MLP: 4630 eur/kW ja PILP: 6200 eur/kW). Oletettavasti tämän myötä elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään optimoitui myös koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto.

4.10 Lämmityksen ohjaus älytermostaattipohjaisella ratkaisulla

Pääosassa yrityksen A monitavoiteoptimointeja selvitettiin lämmityksen ohjausta älytermostaattipohjaisella ratkaisulla. Toimenpide optimoitui elinkaarikustannustehokkaimpaan toimenpideyhdistelmään neljässä kohteessa, joista kahdessa elinkaarikustannustehokkain toimenpide ei sisältänyt lämpöpumppuratkaisua.

Huomioita ja kehitysehdotuksia monitavoiteoptimointien teettämiseen

Seuraavassa on esitetty mobojen raporttien pohjalta, sekä työpajassa tehtyjä huomioita ja kehitysmahdollisuuksia monitavoiteoptimointien teettämiseen liittyen:

- Jos mahdollista, optimointiparametrikohtainen tulosten kuvaus/analyysi on hyvä edellyttää raporttiin. Tämä parantaisi raportissa esitettyjen toimenpiteiden tulkitavuutta.
- Monitavoiteoptimoinnissa käytettävät yksikköhinnat voitaisiin niin haluttaessa esittää Hekan toimesta niiden toimenpiteiden osalta, joista Hekalla/ATT:llä on selkeä näkemys toteutuneiden hintojen perusteella.
- Tarjouspyynnössä on hyvä määritellä ilmoitetaanko kustannukset ja hinnat raportissa sis. alv vai alv 0% -muodossa. Esimerkiksi raporteissa ilmoitettu sähkön hinta vaihtelee yritysten välillä, mikä voidaan mahdollisesti osittain selittää alv:llä. Kuitenkin korkein raporteissa lähtötietona esitetty sähkön hinta on yrityksen raporteissa, joissa lukee, että kaikki kustannukset on ilmoitettu arvonlisäverottomina. Laskennassa käytetty kaukolämmön hinnasto olisi hyvä lisä monitavoiteoptimoinnin raporteissa, koska se voi muuttua merkittävästi kesken vuottakin, jolloin kirjaus hinnaston vuodesta ei ole aivan tarkka määrite.
- Päivämäärät raportin valmistumisen, sekä kaukolämmön ja sähkön hinnaston suhteen olisi hyvä löytyä raportista, koska hinnat päivittyvät suhteellisen usein.
- Lämpöenergian kulutuslukemiin olisi hyvä saada kirjaukset onko ne esitetty normittuina vai normittamattomina lukemina.
- Kulutetut kaukolämpö- ja sähköenergian määrät olisi hyvä eritellä raportin tuloksissa. Tästä voisi lisätä kirjauksen tarjouspyyntöön, jos erittely halutaan.
- Kuvaus millaisen peruskorjauksen yhteydessä toimenpiteitä tehdään. Nämä tiedot olisi hyvä antaa taustatiedoksi mahdollisesti jo tarjouspyynnössä sikäli kuin ne ovat tiedossa. Voisiko referenssiratkaisun, johon optimoitavia toimenpiteitä peilataan, määritellä jo tarjouspyynnössä?
- Yritysten välillä on eroja siinä, onko aurinkosähkö mukana monitavoiteoptimoinnissa optimointiparametrina.
- Jos tämä on mahdollista, laskennassa käytettävät lämpöpumppujen hyötysuhteet (esim. SPF-luvut) voisi edellyttää esitettäväksi raportissa, koska näissä voi olla merkittäviä eroja.
- Käytettyjen termien kuvaukset olisi hyvä esittää raporteissa. Esimerkiksi tarkoittaanko ”kohteen pinta-alalla” lämmitettyä kerrosalaa, kokonaisalaa vai jotain muuta.
- Työpajassa esille nostettuja huomioita:
 - Lämmönjakoverkoston nykyinen mitoitus lämpöpumppulämmitystä ajatellen olisi hyvä huomioida moboissa.

- Voidaanko moboissa huomioida enemmänkin sähkön kulutusjousto: tehomaksut, pörssihintainen sähkö, tulevaisuudessa mahdollisesti Hekan oma virtuaalivoimala (esim. häiriöreservi-markkina)?
- Oikea-aikaisuus: kartoitukset hyvä tehdä ennen energiaselvityksiä: täydennysrakentamistarkastelu, purkutarkastelu, kuntoarviot, kuntotutkimukset
- Kaavoitusmenettelyjen huomiointi
- ARA:n korkotukirajojen huomioiminen budjettiin liittyen
- Laajempaa kehitysmahdollisuutena mobo-tarkastelun laajentaminen perusparannuspassi-tyyppiseksi tarkasteluksi, jossa haetaan elinkaarikustannustehokkainta tai esim. tiettyyn E-lukuun kustannustehokkaimmin johtavaa perusparannussuunnitelmaa?

6 Kohde-esittelyt valituista kohteista ja tuloksista tiedottaminen

Kohde-esittelyjä varten laadittiin Motivan Energiatehokas taloyhtiö -sivustolle Esimerkkejä energiaremonteista -osio. Sivuille tuotettiin artikkeli monitavoiteoptimointien tuloksista ja kaksi esittelyä kohteista:

- Myllypurontie 22, jonka laajassa kesällä 2025 valmistuvassa perusparannuksessa 1960-luvun kohde nousi A-energialuokkaan ja
- Tuhkimontie 10, jonka perusparannus valmistui loppuvuodesta 2023.

Myllypurontie 22 edustaa toimenpiteiltään hyvin laajaa toteutusta, jossa päästään uudisrakentamisessakin hyvänä pidetylle E-luvun tasolle. Tuhkimontie 10 valittiin edustamaan kohdetta, jossa kaukolämmön rinnalle asennetaan poistoilmalämpöpumppu eikä siirrytä maalämpöön. Tuhkimontie 10 kohteen valintaan vaikutti myös se, että peruskorjaus valmistui jo vuoden 2023 lopulla, joten seurantatietoja on saatavilla nopeammin. Esittelyt löytyvät Motivan sivuilta soitteesta:

https://www.motiva.fi/koti_ ja_ asuminen/energiatehokas_taloyhtio/esimerkkeja_energiaremonteista

Monitavoiteoptimointien tuloksista laadittiin keskeisimpiä tuloksia koostava verkkouutinen kesäkuussa valmiiksi projektin lopputiedottamista varten. Uutisessa nostetaan esille lämpöpumppujen ja aurinkosähkön elinkaarialoudellisuus, havaintoja rakenteellisen energiategokkuuden kannattavuudesta ja lämpöpumppuratkaisujen vaikutuksesta siihen, sekä eri yritysten laatimien monitavoiteoptimointien tulosten eroja.

Monitavoiteoptimoinnit ja projektissa tehdyt havainnot niiden tuloksista ovat tuoneet arvokasta tietoa, jota voidaan hyödyntää jatkossa muun muassa Kuluttajien energianeuvonnan tietoa-aineistona, sekä aihepiiriä koskevassa viestinnässä. Projektin työpajassa tunnistettiin laajasti sidosryhmiä, joille tietoa tuloksista on hyödyllistä jakaa jatkossa.

Monitavoiteoptimointien tietokantaa voidaan täydentää tulevaisuudessa uusilla kohteilla ja saada näin lisää aineistoa elinkaaritaloudellisten toimenpiteiden tunnistamiseksi erityyppisiin kohteisiin erilaisissa tilanteissa. Projektin nosti esille monia suosituksia, joita voidaan hyödyntää monitavoiteoptimointien ja myös muiden energiaselvitysten hankintaprosessissa.

Työpajassa saatujen ehdotusten perusteella tietokannan hyödyntämismahdollisuuksia laajempaan käyttöön kannattaisi selvittää Hekan ja mahdollisesti myös Helsingin kaupungin asuntotuotantoyksikön sisäisessä käytössä.

Motivan sivuille laadittuja kohde-esittelyitä on hyödyllistä päivittää tulevaisuudessa seurantatietojen perusteella. Kohteiden seurannalla voidaan todentaa energiatehokkuuteen tehtyjen panostusten vaikutus energiankulutukseen. Seurantakohteet tuovat hyviä esimerkkejä toteutetuista energiaremonteista ja niiden tuloksista, joita voidaan hyödyntää jatkossa Motivan ja laajemmin muun muassa Kuluttajien energianeuvonnan viestinnässä.